

## METHOD FOR DIAGNOSING DAMAGE OF ROLLING BEARING

**Publication number:** JP9113416

**Publication date:** 1997-05-02

**Inventor:** NAKAJIMA SATOSHI; MAEKAWA KENJI

**Applicant:** NIPPON STEEL CORP

**Classification:**

**- international:** *F16C19/52; G01H17/00; G01M13/04; F16C19/00;  
G01H17/00; G01M13/00; (IPC1-7): G01M13/04;  
F16C19/52; G01H17/00*

**- european:**

**Application number:** JP19950268309 19951017

**Priority number(s):** JP19950268309 19951017

**Report a data error here**

### Abstract of JP9113416

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a method for diagnosing a damaged part of a rolling bearing, rotating at momentarily varying r.p.m., accurately using vibration. **SOLUTION:** Envelope waveform of an oscillatory acceleration is converted into a digital signal and an oscillatory spectrum distribution is determined at every time of digitized oscillation data along with the momentary r.p.m. of rolling bearing at the time of measuring oscillation. A decision is made that a specific part of a rolling bearing is damaged when the time variant pattern of r.p.m. matches the time variant pattern of the frequency of peak spectrum in the oscillation spectrum distribution and the frequency of peak spectrum at an arbitrary time matches the feature frequency of the rolling bearing determined by the r.p.m. and geometrical dimensions of the rolling bearing.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-113416

(43)公開日 平成9年(1997)5月2日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>  
G 0 1 M 13/04  
F 1 6 C 19/52  
G 0 1 H 17/00

識別記号 庁内整理番号

F I  
G 0 1 M 13/04  
F 1 6 C 19/52  
G 0 1 H 17/00

技術表示箇所  
A

審査請求 未請求 請求項の数4 OL (全9頁)

(21)出願番号 特願平7-268309

(22)出願日 平成7年(1995)10月17日

(71)出願人 000006655

新日本製鐵株式会社

東京都千代田区大手町2丁目6番3号

(72)発明者 中嶋 智

千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社技術開発本部内

(72)発明者 前川 健二

千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社技術開発本部内

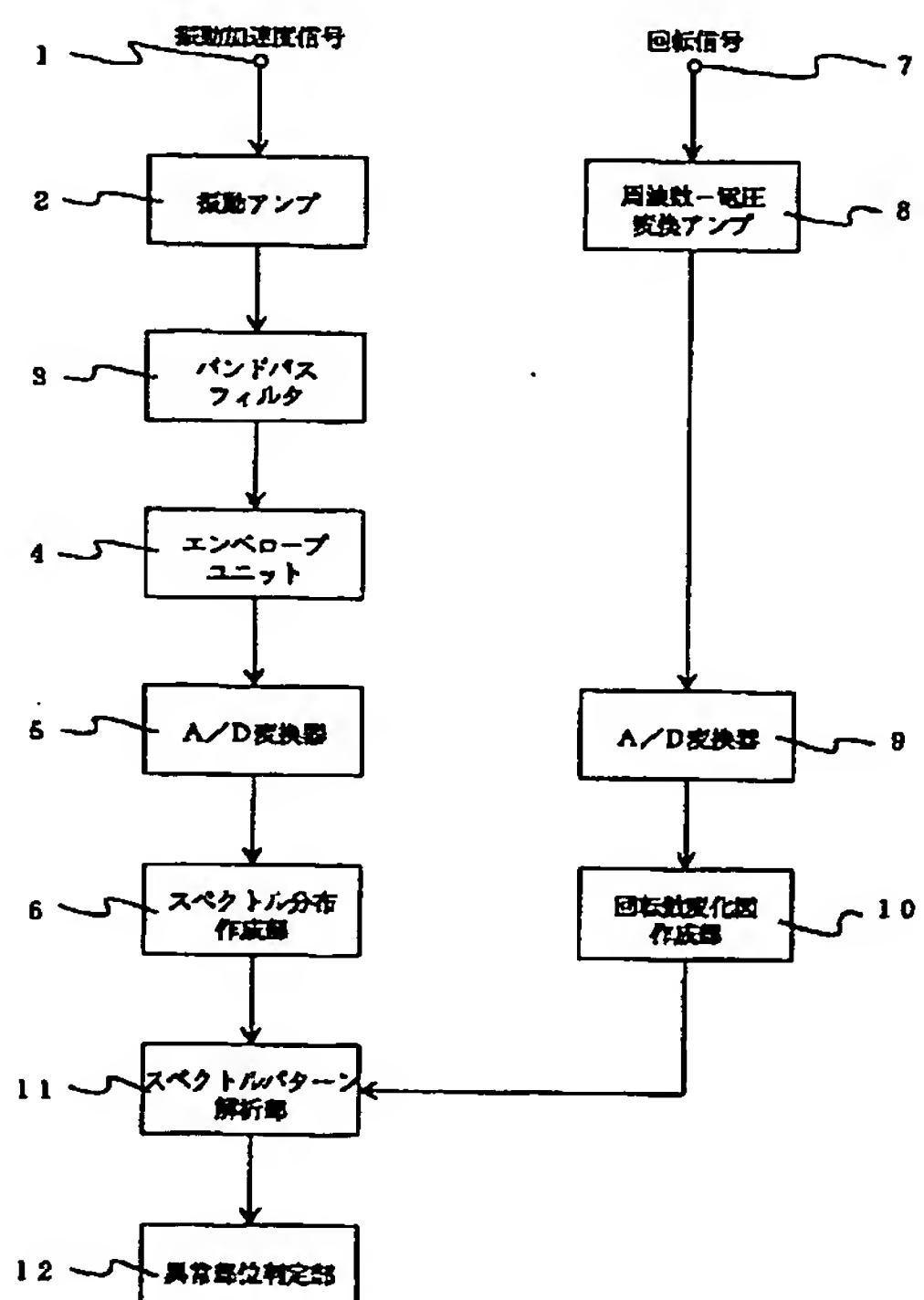
(74)代理人 弁理士 矢葺 知之 (外1名)

(54)【発明の名称】 ころがり軸受の損傷診断方法

(57)【要約】

【課題】 回転数が時々刻々変化するころがり軸受の損傷発生部位を、振動を用いて精度良く診断する方法を提供する。

【解決手段】 振動加速度のエンベロープ波形をデジタル信号に変換し、デジタル化した振動データの時間毎の振動スペクトル分布を求めると共に、振動測定時のころがり軸受の回転数を時々刻々求めて、回転数の時間変化パターンと振動スペクトル分布におけるピークスペクトルの周波数の時間変化パターンが一致し、さらに、任意の時刻におけるピークスペクトルの周波数が、ころがり軸受の回転数ところがり軸受の幾何学的寸法とから求まるころがり軸受損傷の特徴周波数と一致する場合に、ころがり軸受の特定部位に損傷が発生したと判定する。



(2)

2

念を導入した設備診断が事故防止に有効であることが確認され、現在では、軸受は設備診断の主要な診断対象の一つと考えられている。

【0004】設備に組み込まれた軸受が正常な場合、一定回転数で回転中の軸受について軸受を保持しているブロックの振動加速度を測定すると、図13の(a)のようにノイズ的な振動波形が観測される。一方、軸受外輪の転走面(転動体と接触する面)にブレーキングなどの損傷が生じている場合には、図13(b)のような衝撃的な振動が検出される。軸受の診断は、図13(a)、(b)のように正常の場合と異常の場合で軸受から発生する振動の特徴が異なることを利用して行われる。

【0005】従来から、振動を用いた軸受の損傷診断は行なわれており、これによる軸受の異常診断装置として、例えば、特開平1-152335号公報に開示されている装置がある。この装置では、振動を加速度検出器により電気信号に変換し、診断に必要な周波数帯のみを取り出すフィルタを通過させ、さらに包絡線検波回路を通過させたエンベロープ波形を周波数分析して得られた振動スペクトルのピーク周波数の位置と、軸受の幾何学的形状および軸受の回転数の関係に基づいて軸受の損傷発生部位を診断している。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかし、前記従来の方法においては、回転数が時々刻々変化する軸受から発生する振動のエンベロープ波形のスペクトルが明確なピークを示さないことを考慮していないため、この方法は回転数が時々刻々変化する軸受の診断には本来適用できない。近年の設備は回転数可変のものが多く、このような設備に組み込まれた軸受の診断ができないと、診断対象となる設備の範囲が限られるばかりではなく、万が一誤って前記従来の方法によって回転数が時々刻々変化する軸受を診断した場合、検出した振動の分析結果から誤診をしてしまい、その結果設備の突発故障を招いてしまうという危険性もあった。

【0007】本発明の目的は、回転数が時々刻々変化する軸受の損傷発生部位を、振動を用いて精度良く診断する方法を提供することである。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明は、測定した振動加速度からころがり軸受の固有振動数帯域の成分のみをフィルタリングし、フィルタリングした振動信号からエンベロープ波形を抽出し、抽出したエンベロープ波形を利用してころがり軸受の損傷発生部位を診断する方法において、抽出したエンベロープ波形をデジタル信号に変換し、デジタル化した振動データの時間毎の振動スペクトル分布を求めると共に、振動測定と同一タイミングで測定した前記ころがり軸受の回転速度を表す回転信号から、ころがり軸受の回転数を時々刻々求めて、この回転数の時間変化パターンと前記振動スペクトル分布における

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】測定した振動加速度からころがり軸受の固有振動数帯域の成分のみをフィルタリングし、フィルタリングした振動信号からエンベロープ波形を抽出し、抽出したエンベロープ波形を利用してころがり軸受の損傷発生部位を診断する方法において、抽出したエンベロープ波形をデジタル信号に変換し、デジタル化した振動データの時間毎の振動スペクトル分布を求めると共に、振動測定と同一タイミングで測定した前記ころがり軸受の回転速度を表す回転信号から、ころがり軸受の回転数を時々刻々求めて、この回転数の時間変化パターンと前記振動スペクトル分布におけるピークスペクトルの周波数の時間変化パターンが一致し、さらに、任意の時刻におけるピークスペクトルの周波数が、ころがり軸受の回転数ところがり軸受の幾何学的寸法から求まるころがり軸受損傷の特徴周波数と一致する場合に、ころがり軸受の特定部位に損傷が発生したと判定することを特徴とするころがり軸受の損傷診断方法。

【請求項2】時間毎の振動スペクトル分布を、デジタル化した振動データの短時間パワースペクトルを算出して求めることを特徴とする請求項1記載のころがり軸受の損傷診断方法。

【請求項3】時間毎の振動スペクトル分布を、デジタル化した振動データのウェーブレット変換を実行して求めることを特徴とする請求項1記載のころがり軸受の損傷診断方法。

【請求項4】時間毎の振動スペクトル分布を、デジタル化した振動データのウェーブレット変換を実行して求めることを特徴とする請求項1記載のころがり軸受の損傷診断方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、振動を利用してころがり軸受(以下、「軸受」と略記)の損傷部位を診断する方法、特に回転数が時々刻々変化する軸受の損傷部位を診断する方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】軸受を許容値以上の荷重条件下あるいは適切でない潤滑条件下等で長時間使用すると、軸受転走面にブレーキングと呼ばれる損傷が発生する。また、軸受の外部から鉄粉などの異物が侵入したりあるいはその他の要因によつても、軸受転走面に損傷が生じる。これらの損傷は、軸受のスムーズな回転を阻害し異音を発生させるばかりでなく、許容荷重を低下させることにより、軸受の寿命の低下あるいは軸受の破損事故につながる恐れもある。

【0003】軸受の破損等による設備故障を未然に防ぐ方法として、以前は、一定時間経過毎に軸受を交換するという時間基準保全の概念に基づいたいわゆる定期交換が行われていた。しかし、最近では、状態基準保全の概

(3)

3

るピーカスペクトルの周波数の時間変化パターンが一致し、さらに、任意の時刻におけるピーカスペクトルの周波数が、ころがり軸受の回転数ところがり軸受の幾何学的寸法とから求まるころがり軸受損傷の特徴周波数と一致する場合に、ころがり軸受の特定部位に損傷が発生したと判定することを特徴とする。

【0009】また、本発明は、時間毎の振動スペクトル分布を、デジタル化した振動データの短時間パワースペクトルを算出して求めることを特徴とする。また、本発明は、時間毎の振動スペクトル分布を、デジタル化した振動データのウェーブレット変換を実行して求めることを\*

$$f_o = \frac{zN}{120} \left( 1 - \frac{d}{D} \cos \alpha \right)$$

【0011】式(1)において、 $f_o$ は外輪傷(軸受損傷)の特徴周波数 [Hz]、 $z$ は転動体数、 $N$ は回転数 [rpm]、 $d$ は転動体の直径、 $D$ は軸受のピッチ円直径、 $\alpha$ は接触角である。また、通常は $f_o$ の整数倍の周波数位置にもスペクトルのピークが現れる。

内輪転走面や転動体に損傷がある場合もそれ異なる特徴周波数が観察されるので、特徴周波数の値が分かれば軸受の損傷している部位が特定できる。

【0012】しかし、回転数が一定であれば定まった周波数位置に現れるスペクトルのピークは、回転数が時間と共に変化するとそれに伴って周波数軸を移動する。したがって、回転数が時々刻々変化する軸受の診断においては、その時その時における振動スペクトルの様子を知る必要がある。

【0013】本発明においては、具体的には以下のようないくつかの方法により診断を行う。測定した振動加速度(通常はアナログ電気信号として得られる)から、診断の対象となる軸受の固有振動数帯域(一般の軸受では数kHzないし数十kHz)の成分のみをフィルタリングし、さらに包絡線処理によりエンベロープ波形を抽出する。エンベロープ波形をA/D変換によりデジタル信号に変換し、デジタル化した数百点ないし数千点の時系列データについて、振動スペクトルの時々刻々の時間変化の分布を求める。この操作と並行して、振動の解析を行った全ての時間範囲において測定した回転信号から、軸受の時々刻々の回転数を求める。そして、回転数の時間変化パターンと振動スペクトル中のピーカスペクトルの周波数の時間変化パターンが一致し、さらに、任意の時刻におけるスペクトルのピーク周波数が、その時の回転数と軸受の幾何学的寸法とから求まる軸受のいずれかの部位の損傷を表す特徴周波数と一致したときに軸受の損傷部位を特定することができる。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、実施例に基づき本発明を詳細に説明する。図1は、本発明の一実施例の概略を示すプロック図である。図1において、1は振動加速度信号、2は振動アンプ、3はバンドパスフィルタ、4はエンベロープユニット、5はA/D変換器、6はスペクトル分布作成部、7は回転信号、8は周波数-電圧変換アンプ、9はA/D変換器、10は回転数変化図作成部、11はスペクトルパターン解析部、12は異常部位判定部である。

\*特徴とする。さらに、本発明は、時間毎の振動スペクトル分布を、デジタル化した振動データのウェーブレット変換を実行して求めることを特徴とする。

【0010】まず、軸受の損傷部位を特定するための特徴周波数について説明する。軸受が回転しているとき、例えばその軸受の外輪転走面にフレーキング等の損傷が発生すると、測定した振動加速度からその軸受の固有振動数帯域の成分をフィルタリングし、包絡線処理したエンベロープ波形の振動スペクトルには、式(1)に示すような周波数位置にスペクトルのピークが観察される。

【数1】

(1)

エンベロープユニット、5はA/D変換器、6はスペクトル分布作成部、7は回転信号、8は周波数-電圧変換アンプ、9はA/D変換器、10は回転数変化図作成部、11はスペクトルパターン解析部、12は異常部位判定部である。

【0015】本実施例では、図示しない軸受あるいは同じく図示しない軸受を保持するブロックなどの振動をやはり図示しない加速度センサにより検出する。検出した振動加速度信号1を振動アンプ2により電圧信号に変換するとともにそれ以降の処理に適切な電圧レベルになるよう増幅する。次に、この振動信号に含まれる数kHzないし数十kHzの範囲に分布する軸受の固有振動数帯域の成分のみをバンドパスフィルタ3により通過させ、さらにエンベロープユニット4を通過させることによりフィルタリングした振動信号のエンベロープ波形を抽出した後、A/D変換器5によりここまでアナログだった信号をデジタル信号に変換する。したがってこれ以降の処理はデジタル信号処理となる。なおA/D変換する際のサンプリングは軸受損傷の特徴周波数(例えば式(1)の $f_o$ )の10倍程度のサンプリング周波数により行う。

【0016】スペクトル分布作成部6においてデジタル化された振動データについて、振動スペクトルの時間-周波数分布を求める。振動スペクトル分布は、x軸に時間、y軸に振動周波数をとり、スペクトルの強度を3次元のz軸方向の値や等高線、色分布等により表示する。

【0017】一方、振動加速度信号1の検出と同一タイミングで、図示しない回転軸の回転速度に応じた周波数を有するパルスで出力される回転信号7を、周波数すなわち回転数の高低を電圧の高低に変換する周波数-電圧変換アンプ8を通過させ、さらにA/D変換器9によりデジタル信号に変換する。ここで、回転数は発電機の原理を利用して最初から電圧の高低として検出してもよいし、回転に同期したパルスをA/D変換後に周波数-電圧変換して回転数を表す信号としても構わない。また、サンプリング周波数は振動信号の場合と同じであることが望ましい。そして、A/D変換器9でデジタル化した

(4)

5

回転信号に関して、回転数変化図作成部10でx軸に時間、y軸に回転数を探った回転数状態変化図を作成する。

【0018】スペクトルパターン解析部11において、回転数変化図作成部10で作成した回転数状態変化図中の回転数変化パターンと、スペクトル分布作成部6で作成し、x軸に回転数の場合と同一の時間スケールを探った振動スペクトル分布図中の顕著なピークスペクトルの周波数変化パターンを比較する。すなわち、両図におけるy軸を拡大もしくは縮小することにより2つの変化パターンが一致した場合には、さらに異常部位判定部12において、振動スペクトルの任意の時刻におけるピークスペクトルの周波数の値と、これと同一時刻における回転数の値と、予め与えられた軸受の幾何学的寸法とが軸受損傷の特徴周波数を表す式、例えば式(1)を満足する場合に、軸受(式(1)の場合、外輪転走面)に損傷が発生していると判定する。ここで、スペクトルパターン解析部11と異常部位判定部12の機能は明確に区別されるものではなく、いずれか一方で他方の機能までを\*

$$S_1(t, \omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} \overline{x(t) x(t+\tau)} e^{-j\omega\tau} d\tau \quad (2)$$

これに対し式(2)で定義される短時間パワースペクトルは、実用上は振動スペクトルの時間変化を捉えられるだけの少ない数十点あるいは百数十点程度の点数のデータのみを用いてフーリエ変換を行い、この操作を対象となるデータを時間軸方向にずらしながら次々に実行することによって、短い時間範囲毎のスペクトルの変化を観察することができる。式(2)において、 $S_1(t, \omega)$ は時刻tにおける短時間パワースペクトルにより求められた振動スペクトル、 $\omega$ は角周波数、 $x(t+\tau)$ は時刻 $t+\tau$ における振動データ、 $\tau$ は時間遅れを意味する積分変数、バーは時間平均を表す記号、eは指数関数、jは虚数単位である。なお、定常パワースペクトル、短時間パワースペクトル共に対象となるデータには、スペクトルの漏れを防止するために変換前に時間窓を掛けることが一般的に行われている。

【0022】スペクトル分布作成部6においては、デジタル化された振動データについて時間軸をずらしながら短時間パワースペクトルを算出することにより振動スペクトルの時間一周波数分布を求める。1回の短時間パワースペクトルを利用するデータ数は、回転数変化の速度やサンプリング周波数、サンプリング時間等により決定されるが、通常は数十点から百数十点程度の場合が多い。

【0023】以上のこととを実測データを用いてさらに詳しく説明する。

【実施例1-1】(異常軸受の場合)

図2は、外輪転走面に線状の損傷がある円筒ころ軸受N

\*併せて実行してもよい。

【0019】

【実施例】スペクトル分布作成部6におけるスペクトル解析法として、短時間パワースペクトルを利用する方法を以下に説明する。

【0020】(実施例1)まず、本発明で利用する短時間パワースペクトルについて簡単に説明する。振動のスペクトルを求める方法として、一般的には振動信号をデジタル信号に変換し、数百点ないしは数千点単位の時系列データのパワースペクトル(ここではこれを定常パワースペクトルと呼ぶ)を求めることが行われている。しかし、定常パワースペクトルがデータの時間平均で構成される自己相関関数のフーリエ変換により定義されることから、得られたスペクトルは対象となった全データの平均的な様子を示すことになり、データ中に非定常な信号が含まれている場合には、短い時間におけるスペクトル変化の特徴が明確に現れない場合がある。

【0021】

【数2】

204 (JIS B1533) の振動加速度を軸受プロックで測定したときの振動波形を示す。このデータは、軸受の回転数が1秒間に970 rpm から430 rpm まで変化したときの振動加速度を1 kHz から40 kHz までのバンドパスフィルタを通して、さらに、エンベロープアンプにより包絡線処理し、512 Hzのサンプリング周波数でサンプリングしたものである。

【0024】この512点の振動時系列データに関し、128点のハニング時間窓を掛けた短時間パワースペクトルを時間軸方向に1点ずつシフトさせながら逐次算出した結果の振動スペクトル分布図を図3に示す。図3においてスペクトルの強弱は4段階の等高線で示しているが、ピークスペクトルは時間軸方向にはフーリエ変換に用いたデータ点数に相当する、また周波数軸方向には掛けた時間窓の窓長に相当するそれぞれ若干の広がりを持っている。

【0025】また、図4には、図2に示した振動と同一タイミングで測定した回転数の変化の様子を示す。

【0026】図3において縦軸(周波数軸)を16 Hzから128 Hzまで採り、図4において縦軸(回転数軸)を238 rpm から1906 rpm まで採ると、図3の黒い帯状の模様で示されるピーク周波数の変化パターンと、図4の回転数変化パターンはほぼ一致する。さらに、図3で970 rpm におけるピークスペクトルの中心周波数は約65 Hzであり、この周波数はこの軸受に関して式(1)を満足することから、本発明の方法により、回転数が急激に変化する軸受について、損傷部位の特定すな

50

(5)

7

わち診断ができることが分かる。

【0027】(比較例) 比較例として、従来の方法により図2の振動データの全512点を用いて求めた定常パワースペクトルの様子を図5に示す。図5では振動スペクトルが周波数軸上でなだらかに広がっており、この解析結果から特徴周波数を抽出することは難しい。

【0028】以上のことから、本発明の方法を用いることにより、従来の方法では診断が難しい回転数が時々刻々変化する軸受の診断が可能であることが分かる。

【0029】[実施例1-2] (正常軸受の場合)

図6は、実施例1-1のものと同一型番の正常な軸受について、実施例1-1の時と同一方法で測定およびサン\*

$$S_2(t, \omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t + \frac{\tau}{2}) x^*(t - \frac{\tau}{2}) e^{-j\omega\tau} d\tau \quad (3)$$

式(3)で定義されるウィグナ分布は、瞬時の時系列データおよびその共役データの積に対してフーリエ変換を行い、この操作を対象となるデータを時間軸方向にずらしながら次々に実行することによって、瞬時瞬時のスペクトルの変化を観察することができる。式(3)において、 $S_2(t, \omega)$ は時刻tにおけるウィグナ分布により求められた振動スペクトル、 $\omega$ は角周波数、 $x(t + \tau/2)$ は時刻 $t + \tau/2$ における振動データ、 $\tau$ は時間遅れを意味する積分変数、\*は共役を表す記号、eは指数関数、jは虚数単位である。なお、ウィグナ分布でも対象となるデータには、スペクトルの漏れを防止するために変換前に時間窓を掛けることが一般的に行われている。

【0032】複数の周波数分布を有する振動のウィグナ分布解析結果にはクロス項と呼ばれる実際には存在しないスペクトルが生じる。しかし、クロス項は実在する2つのスペクトルの中央部に生じるという性質があるので、軸受の診断のように発生するスペクトルの位置が式(1)に示すごとく事前に分かっている場合には、実在のスペクトルとクロス項を分離することは容易である。具体的には、クロス項は特徴周波数の0.5倍、1.5倍、2.5倍、・・・に生じるので、これらのスペクトルは判定から除外する。

【0033】スペクトル分布作成部6においては、デジタル化された振動データについて時間軸をずらしながらウィグナ分布解析を実行することにより振動スペクトルの時間-周波数分布を求める。解析を実行する際の時間窓長は、短時間パワースペクトルの場合と同様、回転数変化の速度やサンプリング周波数、サンプリング時間等により決定されるが、通常は数十点から百数十点程度の場合が多い。以上のこととを実測データを用いてさらに詳しく説明する。

【0034】[実施例2-1] (異常軸受の場合)

8

\*プリングした振動波形を示す。この振動データについて実施例1-1と同一手法で解析して得られた振動スペクトル分布図を図7に示す。

【0030】図7のピーク周波数の変化パターンと図4の回転数変化パターンは一致せず、これから、本発明の方法では軸受の正常と異常を明確に判別できることが分かる。次に、スペクトル分布作成部6におけるスペクトル解析法として、ウィグナ分布を利用する方法を以下に説明する。

【0031】(実施例2) まず、本発明で利用するウィグナ分布について簡単に説明する。

【数3】

$$S_2(t, \omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t + \frac{\tau}{2}) x^*(t - \frac{\tau}{2}) e^{-j\omega\tau} d\tau \quad (3)$$

図2に示したこの512点の振動時系列データに関し、128点のハニング時間窓を掛けたウィグナ分布解析を時間軸方向に1点ずつシフトさせながら逐次算出した結果の振動スペクトル分布図を図8に示す。図8においてスペクトルの強弱は4段階の等高線で示しているが、ピーカスペクトルは周波数軸方向に掛けた時間窓の窓長に相当する若干の広がりを持っている。また、周波数の低い方から1番目(図中の①)と3番目(図中の③)のピーカスペクトル列はクロス項である。

【0035】図8において縦軸(周波数軸)を16Hzから128Hzまで採り、図4において縦軸(回転数軸)を238rpmから1906rpmまで採ると、図8の周波数の低い方から2番目のピーカスペクトル列(図中の②)の周波数の変化パターンと、図4の回転数変化パターンはほぼ一致する。さらに、図8で970rpmにおける2番目のピーカスペクトルの中心周波数は約65Hzであり、この周波数はこの軸受に関して式(1)を満足することから、本発明の方法により、回転数が急激に変化する軸受について、損傷部位の特定すなわち診断ができることが分かる。

【0036】[実施例2-2] (正常軸受の場合) 図6に示した振動データについて実施例2-1と同一手法で解析して得られた振動スペクトル分布図を図9に示す。図9のピーク周波数の変化パターンと図4の回転数変化パターンは一致せず、これから、本発明の方法では軸受の正常と異常を明確に判別できることが分かる。次に、スペクトル分布作成部6におけるスペクトル解析法として、ウェーブレット変換を利用する方法を以下に説明する。

【0037】(実施例3) まず、本発明で利用するウェーブレット変換について簡単に説明する。

【数4】

$$(6) \quad S_3(t, f) = \frac{1}{\sqrt{c}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) \psi\left(\frac{\tau-t}{f}\right) d\tau \quad (4)$$

式(4)で定義されるウェーブレット変換は、時間的にも周波数的にも局在する関数 $\psi(\tau)$ を基底関数とした線形変換である。データの不連続点の位置(時刻)の特定に関する情報を有することになるため、ごく短時間でのスペクトルの変化を観察することができる。式(4)において、 $S_3(t, \omega)$ は時刻 $t$ におけるウェーブレット変換により求められた振動スペクトル、 $f$ は周波数、 $x(\tau)$ は振動データ、 $\tau$ は時間遅れを意味する積分変数、 $c$ は定数である。また、図10には基底関数の代表的な例である波数4のガボール関数(複素関数)の形状を示す。図10において、①は関数の実部、②は虚部を表す。

【0038】ウェーブレット変換は対数周波数空間で等間隔サンプリングとなるため、周波数分解能はオクターブ分析と同様に中心周波数に比例する。また、時間分析能は高周波領域ほど高いため、この領域ではスペクトルの変化を非常に良く捉えることができる。

【0039】スペクトル分布作成部6においては、デジタル化された振動データについてウェーブレット変換を実行することにより振動スペクトルの時間-周波数分布を求める。以上のこととを実測データを用いてさらに詳しく説明する。

#### 【0040】【実施例3-1】(異常軸受の場合)

図2の512点の振動時系列データに関し、図10に示した波数4のガボール関数を基底関数として用い、1オクターブ中の周波数分解能8のウェーブレット変換を実行した結果の振動スペクトル分布図を図11に示す。図11においてスペクトルの強弱は4段階の等高線で示している。高周波領域になるほど時間分解能が高くなるかわりに周波数分解能が低くなるため、図中には周波数軸に平行なピーク列がいくつか存在するが、これらのピーク列は本発明においては用いない。

【0041】図11において縦軸(周波数軸)を16Hzから128Hzまで採り、図4において縦軸(回転数軸)を238rpmから1906rpmまで採ると、図11中の周波数軸に平行なピーク列を除いた黒い帯状の模様で示されるピーク周波数の変化パターンと、図4の回転数変化パターンはほぼ一致する。さらに、図11で970rpmにおけるピクスペクトルの中心周波数は約6.5Hzであり、この周波数はこの軸受に関して式(1)を満足することから、本発明の方法により、回転数が急激に変化する軸受について、損傷部位の特定すなわち診断ができることが分かる。

#### 【0042】【実施例3-2】(正常軸受の場合)

図6の振動データについて実施例3-1と同一手法で解析して得られた振動スペクトル分布図を図12に示す。図12のピーク周波数の変化パターンと図4の回転数変

化パターンは一致せず、これから、本発明の方法では軸受の正常と異常を明確に判別できることが分かる。

#### 【0043】

【発明の効果】以上の説明から明らかのように、本発明の方法を用いれば、回転数が時々刻々変化する軸受についても、振動と回転数を同時に測定し解析することにより、損傷の発生部位を精度良く特定することができる。また、従来の回転数一定の軸受の診断に適用していた方法に比べて、誤診すなわち見逃しを冒す危険も大幅に少くなり、突発故障を防ぐことにより設備の信頼性を向上させることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例の概要を示すブロック図である。

【図2】異常ころがり軸受から検出される振動時系列データを示す図である。

【図3】本発明の一方法による振動スペクトルデータ(異常軸受の場合)を示す図である。

【図4】本発明の方法による回転数データを示す図である。

【図5】従来の方法による振動スペクトルデータを示す図である。

【図6】正常ころがり軸受から検出される振動時系列データを示す図である。

【図7】本発明の一方法による振動スペクトルデータ(正常軸受の場合)を示す図である。

【図8】本発明の他の方法による振動スペクトルデータ(異常軸受の場合)を示す図である。

【図9】本発明の他の方法による振動スペクトルデータ(正常軸受の場合)を示す図である。

【図10】本発明で利用する線形変換の基底関数を示す図である。

【図11】本発明の他の方法による振動スペクトルデータ(異常軸受の場合)を示す図である。

【図12】本発明の他の方法による振動スペクトルデータ(正常軸受の場合)を示す図である。

【図13】ころがり軸受回転時に検出される振動の様子を示す図の例である。

#### 【符号の説明】

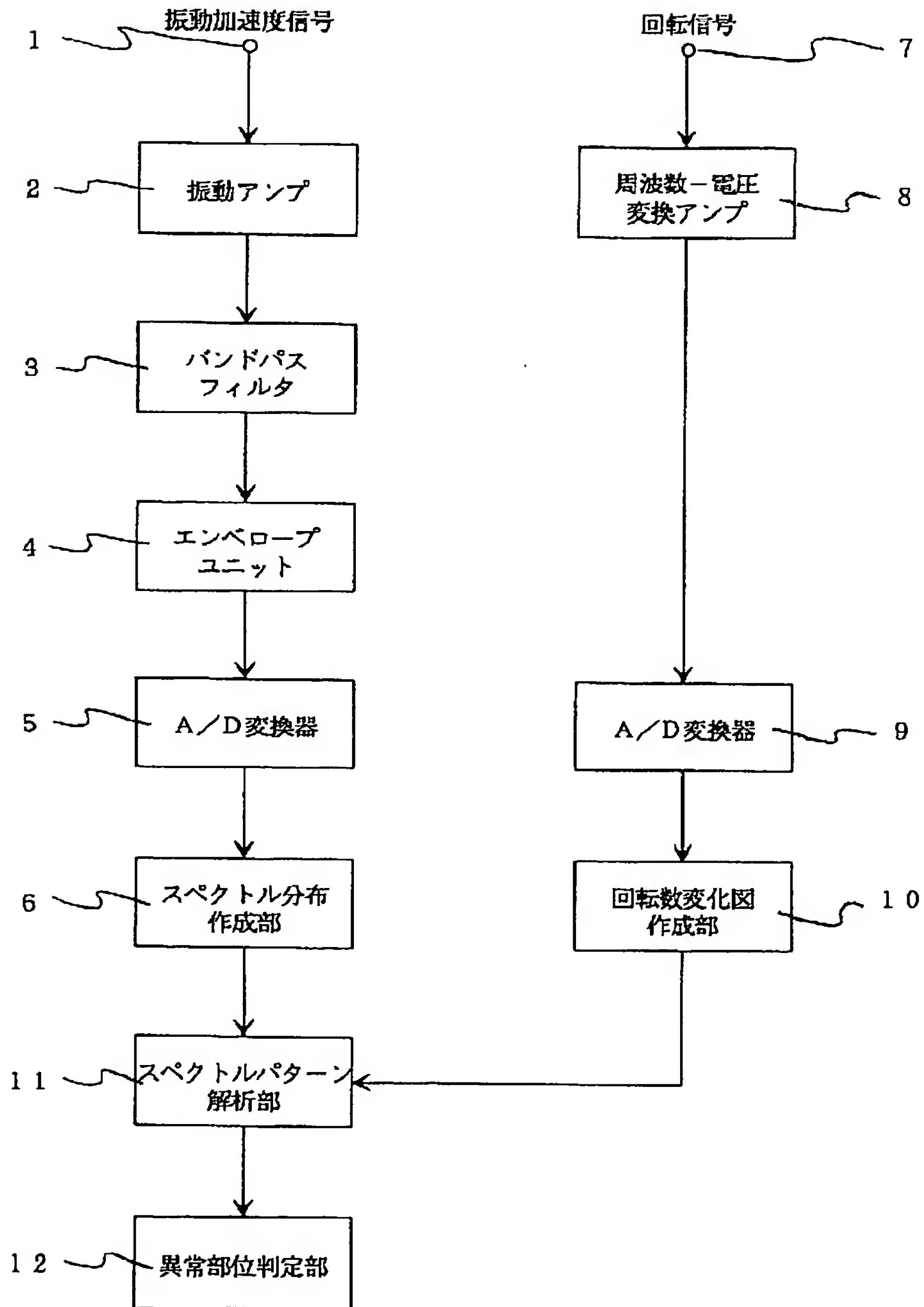
- 1 振動加速度信号
- 2 振動アンプ
- 3 バンドパスフィルタ
- 4 エンベロープユニット
- 5 A/D変換器
- 6 スペクトル分布作成部
- 7 回転信号
- 8 周波数-電圧変換アンプ

(7)

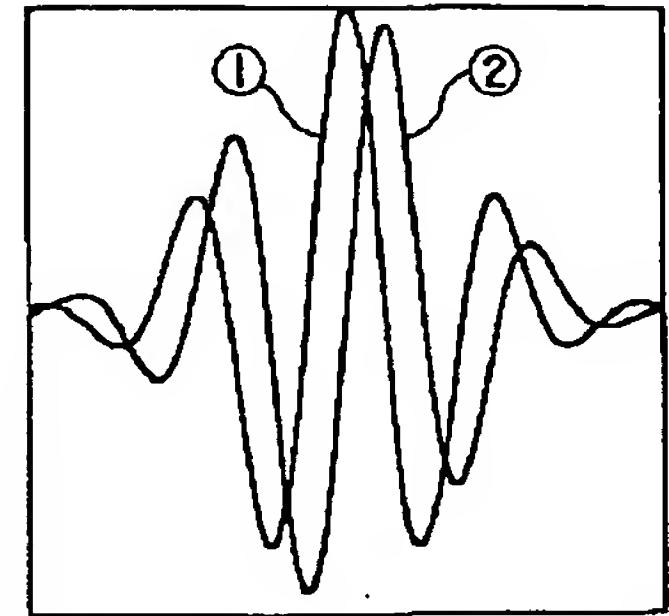
11

9 A/D変換器  
10 回転数変化図作成部

【図1】



【図10】

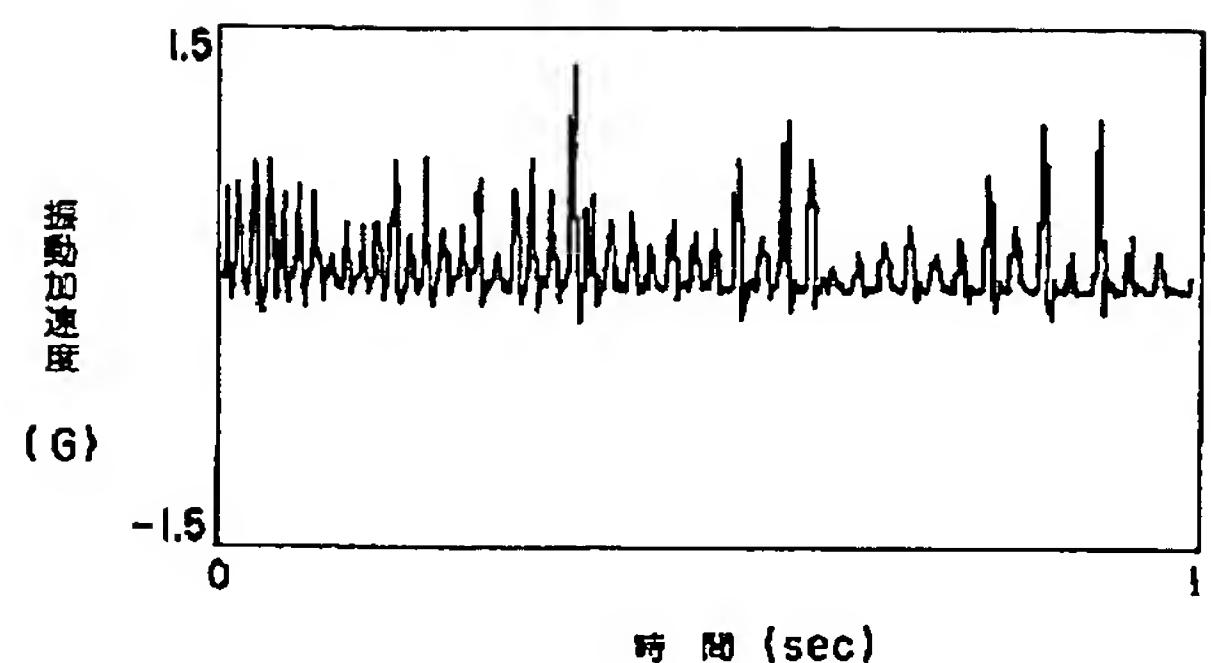


11 スペクトルパターン解析部  
12 異常部位判定部

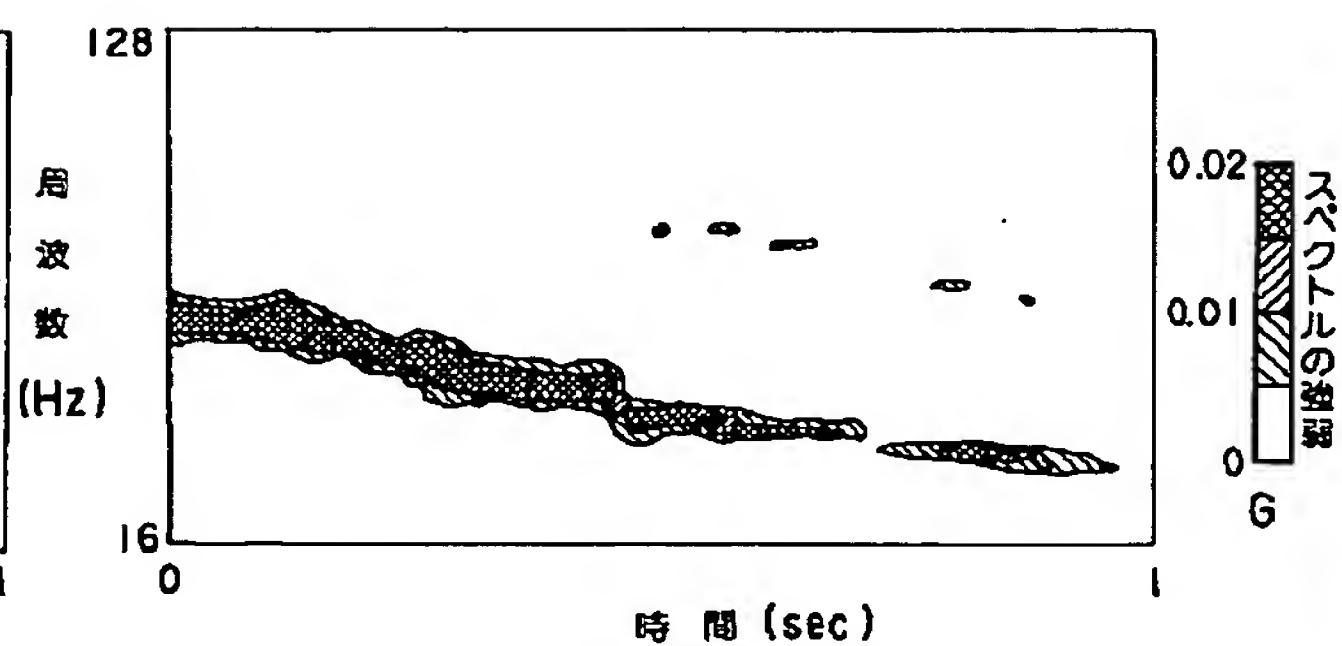
12

(8)

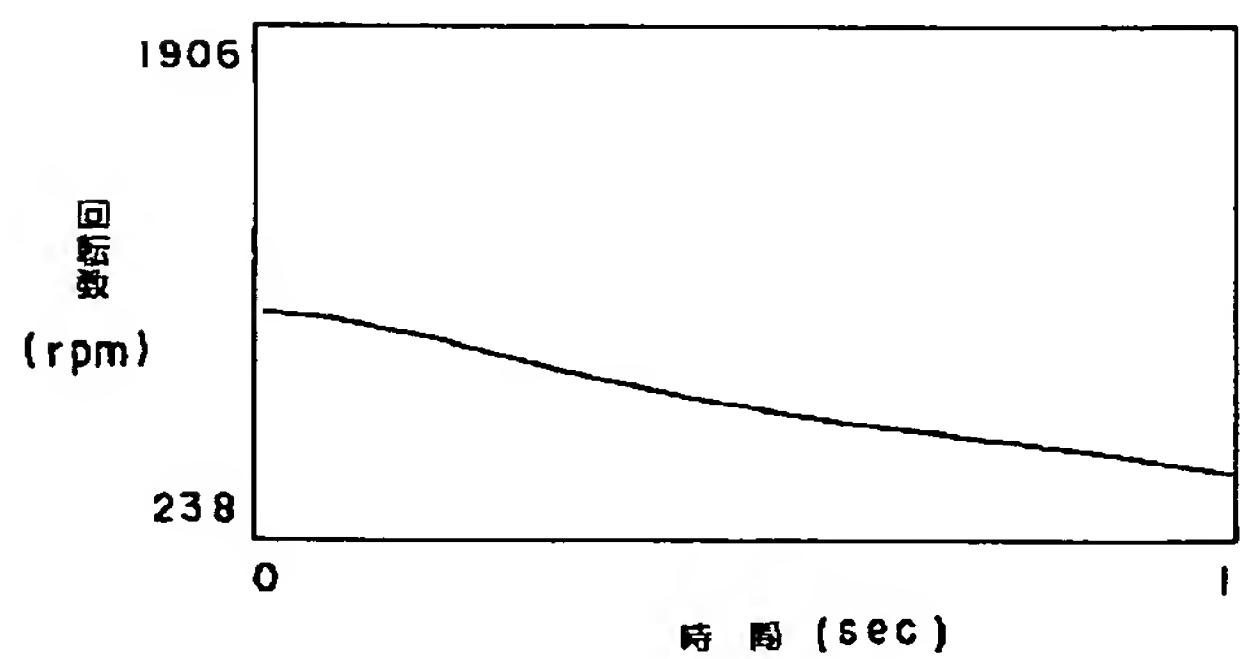
【図2】



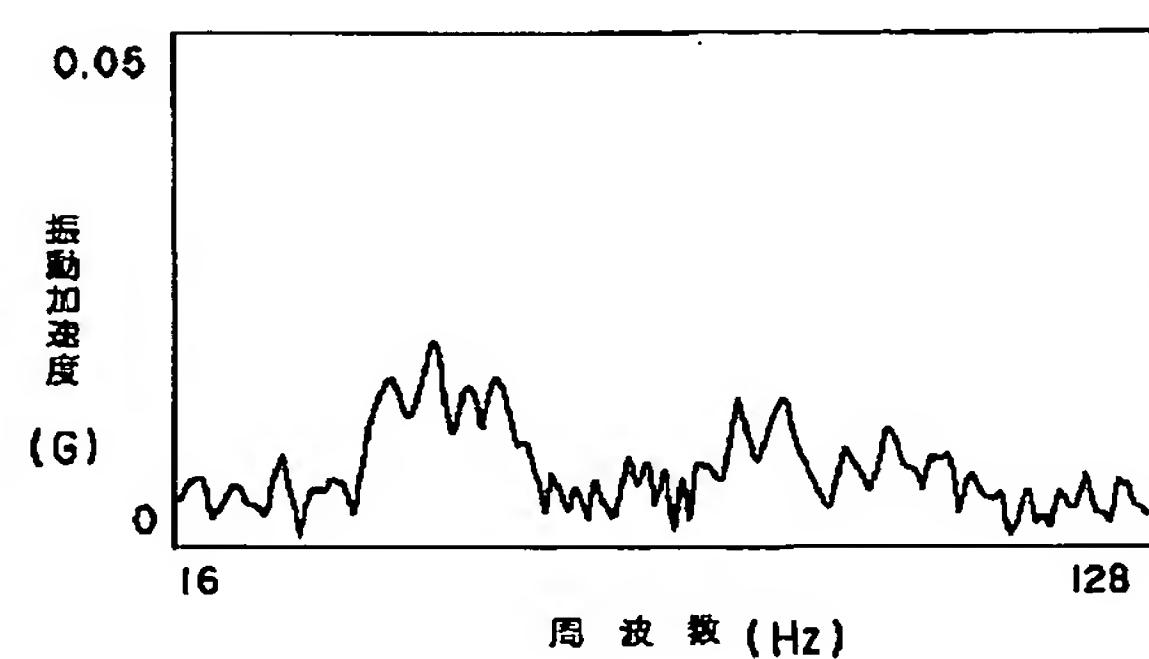
【図3】



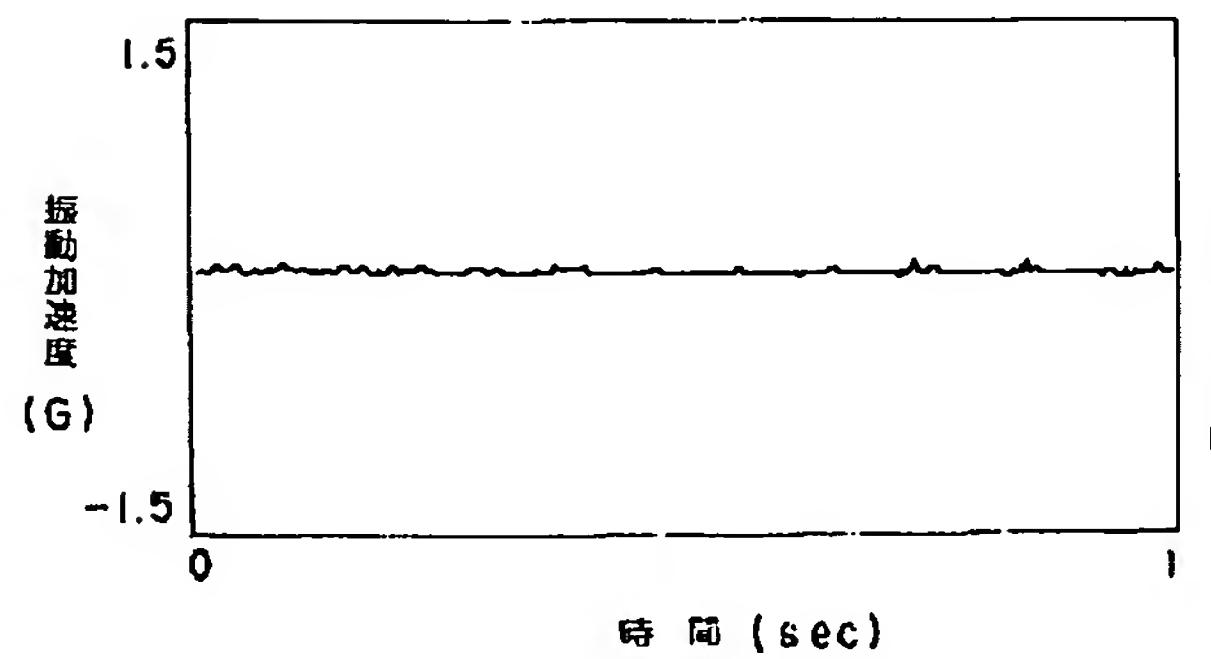
【図4】



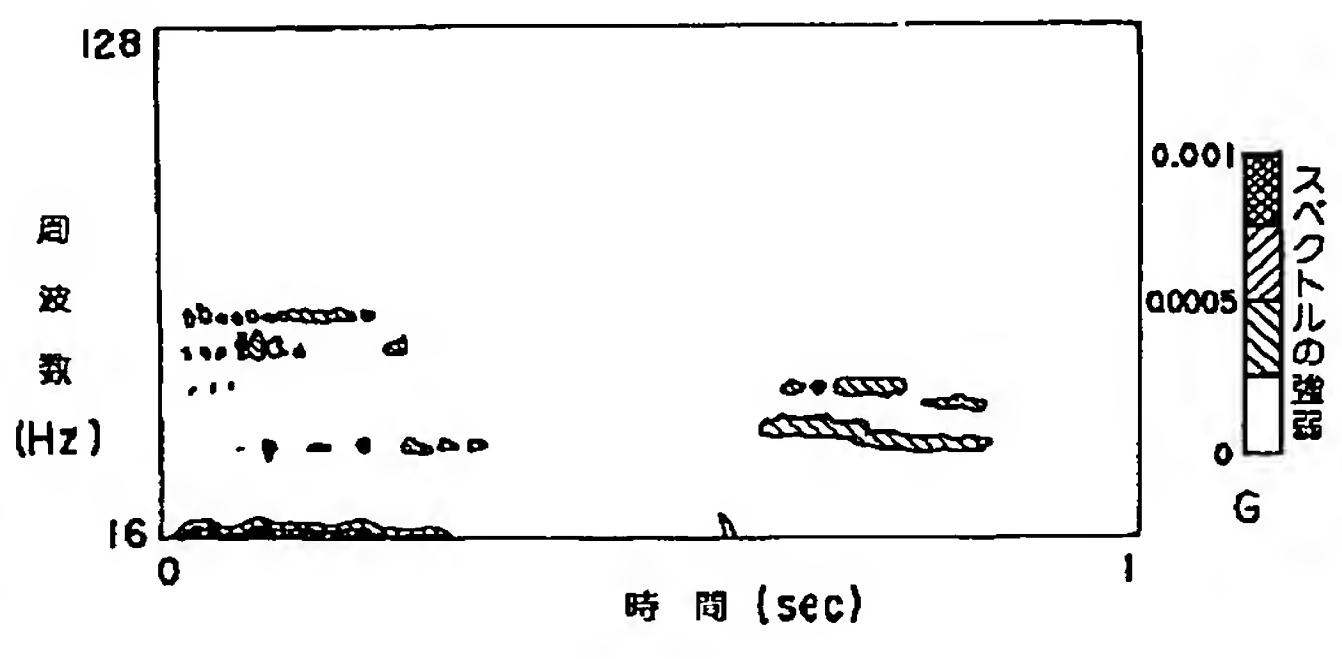
【図5】



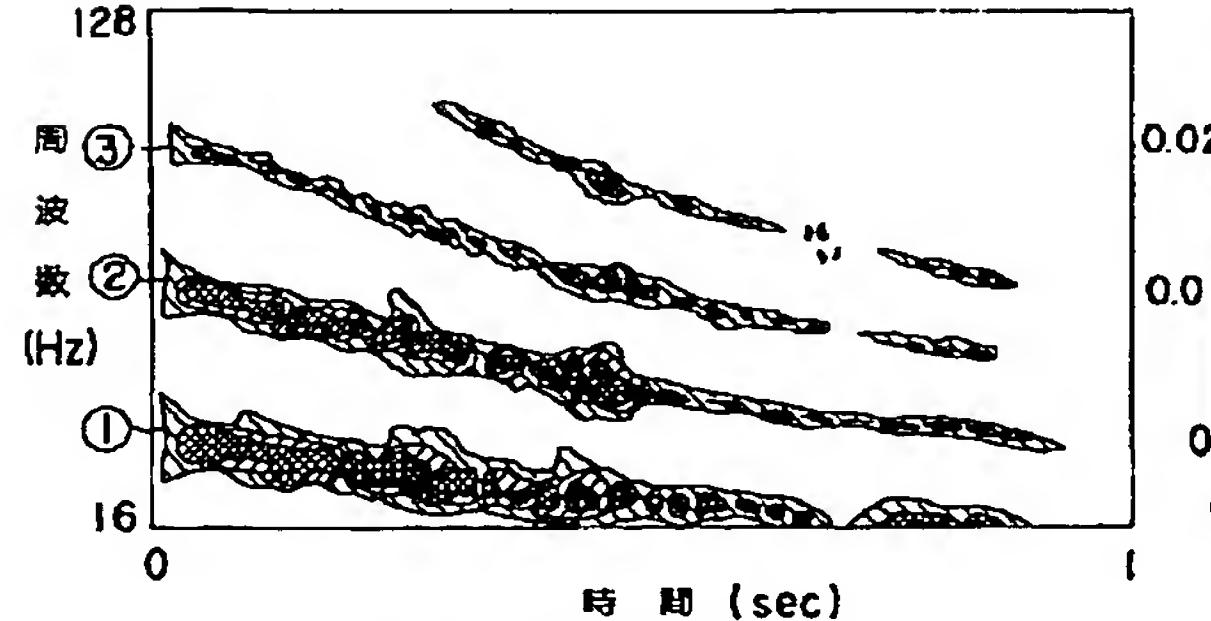
【図6】



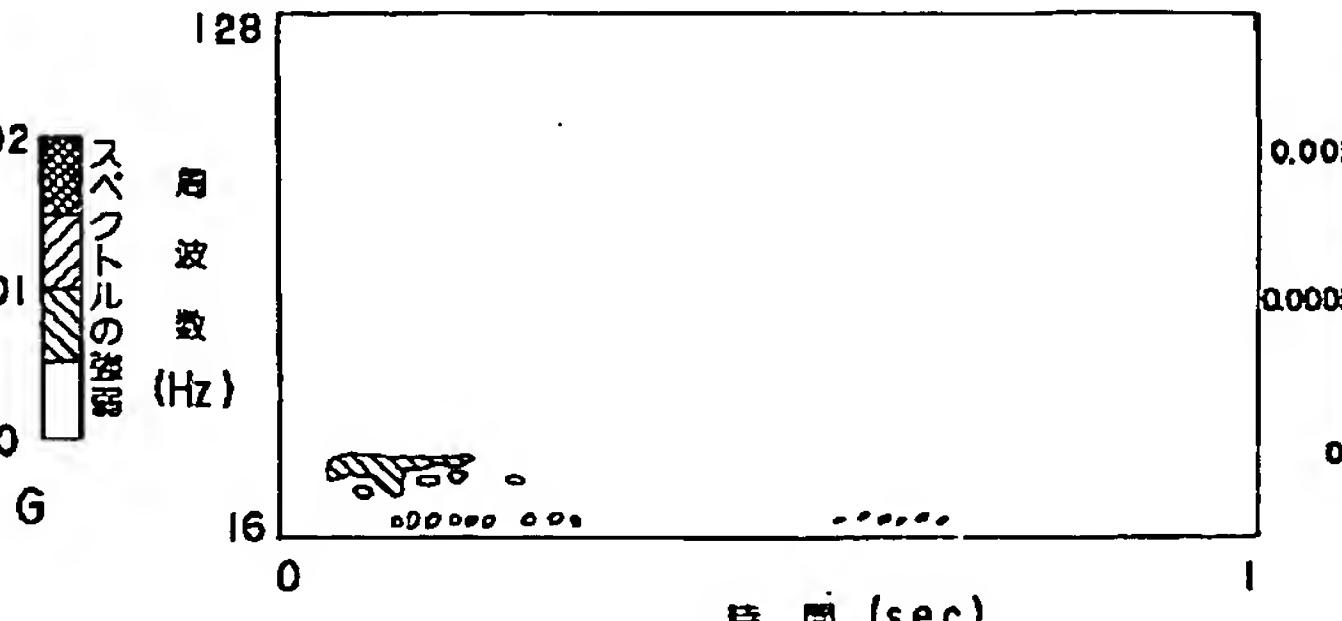
【図7】



【図8】

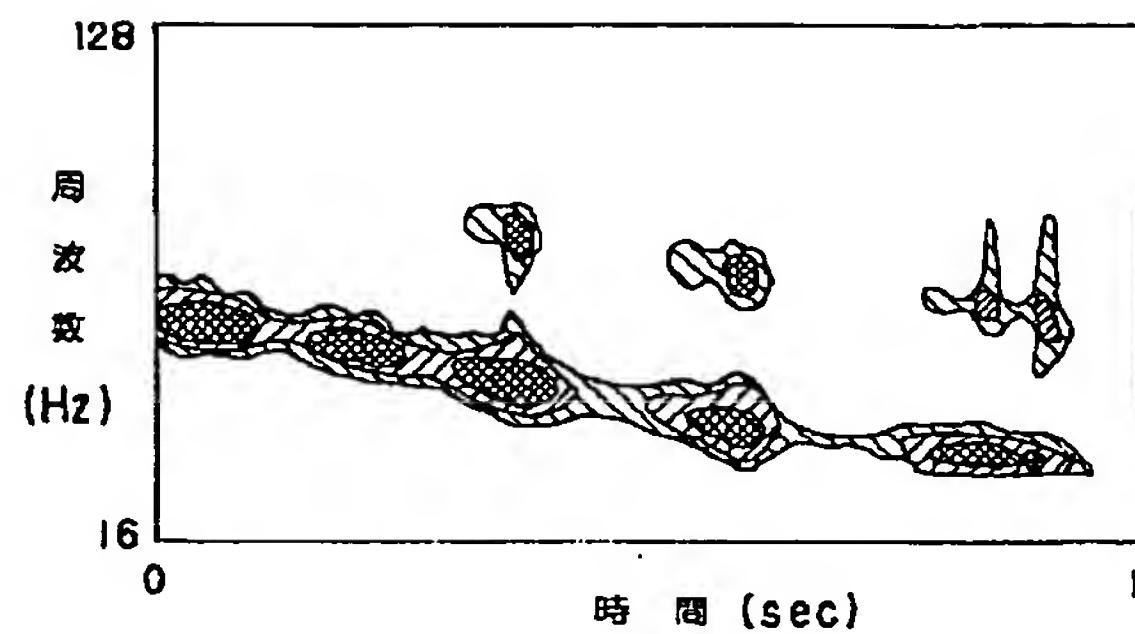


【図9】

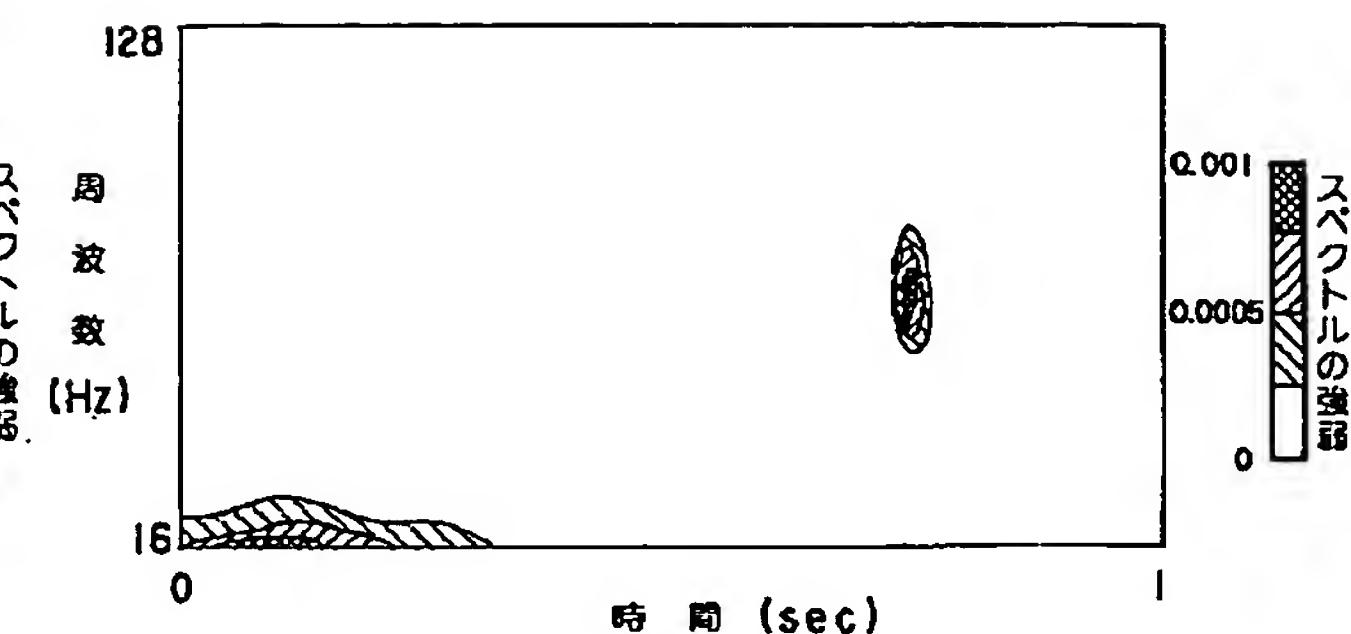


(9)

【図11】



【図12】



【図13】

